



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103794489 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 14

(21) 申请号 201310465333. 7

(22) 申请日 2013. 10. 08

(30) 优先权数据

1217712. 7 2012. 10. 03 GB

61/709259 2012. 10. 03 US

(71) 申请人 SPTS 科技有限公司

地址 英国新港

(72) 发明人 海尤玛·阿什拉夫 安东尼·巴克

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理事

务所(普通合伙) 11270

代理人 张颖玲 胡春光

(51) Int. Cl.

H01L 21/3065(2006. 01)

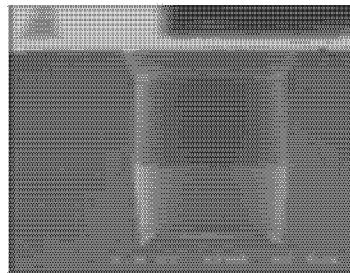
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

等离子蚀刻的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种等离子蚀刻碳化硅工件的方法,所述方法包括以下步骤:在所述碳化硅工件的表面上形成掩模;利用第一组工艺条件在被遮掩的表面上进行初始等离子蚀刻,其中所述等离子由蚀刻气体混合物产生,所述蚀刻气体混合物包括 i) 氧气和 ii) 至少一种富氟气体,所述富氟气体以小于 50% 的体积比存在于所述蚀刻气体混合物中;以及随后利用第二组工艺条件进行主等离子蚀刻工艺,所述第二组工艺条件不同于所述第一组工艺条件。



1. 一种等离子蚀刻碳化硅工件的方法,所述方法包括以下步骤:
在所述碳化硅工件的表面上形成掩模;
利用第一组工艺条件在被遮掩的表面上进行初始等离子蚀刻,其中所述等离子由蚀刻气体混合物产生,所述蚀刻气体混合物包括 i) 氧气和 ii) 至少一种富氟气体,所述富氟气体以小于 50% 的体积比存在于所述蚀刻气体混合物中;以及
随后利用第二组工艺条件进行主等离子蚀刻工艺,所述第二组工艺条件不同于所述第一组工艺条件。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述富氟气体以 0.1 ~ 20%, 优选 0.1 ~ 10%, 更优选 0.5 ~ 7%, 更进一步优选 1.0 ~ 50%, 且最优选约 1.5% 的体积比存在于所述蚀刻气体混合物中。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,所述蚀刻气体混合物进一步包括惰性载气。
4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,所述惰性载气为稀有气体,优选为氩。
5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述至少一种富氟气体为 CF_4 和 / 或 SF_6 。
6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述掩模为金属掩模。
7. 根据权利要求 6 所述的方法,其中,所述掩模为镍掩模。
8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,其上形成所述掩模的所述碳化硅工件的表面是未抛光的。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,其上形成所述掩模的所述碳化硅工件的表面是经研磨的。
10. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,进行所述初始等离子蚀刻至至少 250nm 的蚀刻深度。
11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中,进行所述初始等离子蚀刻至至少 700nm 的蚀刻深度。
12. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,进行所述碳化硅工件的等离子蚀刻以提供一个或多个通孔。
13. 一种用于蚀刻碳化硅工件的装置,所述装置包括:
腔室;
放置在所述腔室中的工件支架;
气体供应和泵送器件,用于将蚀刻气体提供至所述腔室;以及
控制器件,配置用以控制包括所述气体供应和泵送器件的装置以进行根据权利要求 1 至 12 中任一项所述的方法。
14. 一种基本参照附图如前所述的方法或装置。

等离子蚀刻的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种等离子蚀刻碳化硅的方法和相关装置。

背景技术

[0002] 碳化硅是公认的一种极其难以蚀刻的材料。在碳化硅中难以得到基本上没有缺陷的蚀刻特征(etched feature)。在不受任何具体理论或假设的限制下,相信这种情况是由于在先工艺步骤期间基板上形成的表面缺陷。

[0003] 图 1a 和图 1b 为示出了利用 SF₆/O₂、SF₆/O₂/He、SF₆/O₂/Ar 或 SF₆/O₂/Ar/He 工艺气体的碳化硅的等离子蚀刻造成的常规缺陷的光学显微照片。在图案化和等离子蚀刻前,SiC 层通常研磨(1ap)降至约 100 微米的厚度且粘合至载体晶片。观察到明显的缺陷形成。

[0004] 镍常常被用作硬掩模用于蚀刻特征,例如进入碳化硅的通孔(via)。图 2 示出了常规现有技术工艺,其中(图 2a),在 SiC 晶片 4 上沉积 50nm Ti 或 TiW 的薄阻挡层或薄粘附层 3,随后沉积约 0.5 微米金的晶种层 2。然后利用已知的光刻工艺在金晶种层 2 上形成光刻胶 1 以限定掩模的位置。将镍掩模 5 (通常约 5 微米厚)电镀在金晶种层 2 上(图 2b)。在用镍电镀后,如图 2c 所示剥离光刻胶且利用湿化学品去除通孔上覆盖的晶种层。更具体地,利用 KI 溶液去除金,利用过氧化氢去除 TiW。图 2d 示出了表示出单个蚀刻通孔 6 的各向异性 SiC 通孔蚀刻工艺的结果。

[0005] 如上所述,图 2 (c) 描述了在剥离光刻胶且通过湿化学品去除通孔上覆盖的晶种层之后的工艺阶段。如果随后直接进行主蚀刻(bulk etch)步骤的工艺,然后通常观察到严重的缺陷形成。常见的是多于 50% 的通孔特征包含缺陷。已知的是,在进行主蚀刻步骤之前进行贯穿步骤。贯穿步骤为在主蚀刻步骤之前,用于开始 SiC 蚀刻步骤的工艺条件的具体步骤。氟等离子贯穿步骤已经用于该目的,且通常通过加入一些氧气来增强氟等离子贯穿步骤(breakthrough step)以去除痕量的光刻胶或其他有机材料。在一些实例中,这足以清除晶种层残余物。然而,取决于存在的残余物水平,该类型的贯穿步骤可能在主体(main) SiC 蚀刻步骤之前未充分去除残余物或损伤,因此导致在蚀刻的产品中存在缺陷。利用氟离子的简单贯穿步骤未充分避免缺陷的工件实例为经研磨(但未抛光)的碳化硅。据认为,缺陷是由于存在的晶种层残余物和 SiC 研磨步骤产生的位错(dislocation)而引起(Ju-Ai Ruan 等人, SiC Substrate Via Etch Process Optimisation, CS MANTECH Conference, May18th-21st, 2009, Tampa, FL, USA)。并且,已经建议通过控制主蚀刻步骤期间各种工艺参数(例如通过降低压力)来降低缺陷形成(Ruan 等人, ibid; Semiconductor Today Compounds & Advanced Silicon, Vol. 4, 10, December2009/January2010, 54-55; N Okamoto 等人, Backside Process Considerations for Fabricating Millimetre-Wave GaN HEMT MMICs, CS MANTECH Conference, May17th-20th, 2010, Portland, OR, USA)。

发明内容

[0006] 在至少一些实施方式中,本发明提供了一种用于蚀刻硅碳化钨的改善的工艺,该

改善的工艺显著地降低了缺陷密度。本发明还可提供工艺时间的显著降低。本发明还提供了用于进行该方法的相关装置。

[0007] 根据本发明第一个方面,提供了一种等离子蚀刻碳化硅工件的方法,所述方法包括以下步骤:

[0008] 在所述碳化硅工件的表面上形成掩模;

[0009] 利用第一组工艺条件在被遮掩的表面上进行初始等离子蚀刻,其中所述等离子由蚀刻气体混合物产生,所述蚀刻气体混合物包括 i) 氧气和 ii) 至少一种富氟气体,所述富氟气体以小于 50% 的体积比存在于所述蚀刻气体混合物中;以及

[0010] 随后利用第二组工艺条件进行主等离子蚀刻工艺,所述第二组工艺条件不同于所述第一组工艺条件。

[0011] 术语“富氟气体”应理解为在其范围内包括分子式中的氟原子数目超过分子式中除氟原子以外的其他原子的总数目的分子。

[0012] 富氟气体可以以 0.1 ~ 20%, 优选 0.1 ~ 10%, 更优选 0.5 ~ 7%, 更进一步优选 1.0 ~ 5.0% 的体积比存在于所述蚀刻气体混合物中。最优选地,富氟气体以约 1.5% 的体积比存在于蚀刻气体混合物中。

[0013] 富氟气体或多种富氟气体可仅仅和氧气存在于蚀刻气体混合物中。可替代地,蚀刻剂气体混合物可含有一种或多种稀释剂气体。在一些实施方式中,蚀刻剂气体混合物进一步包括惰性载气。惰性载气可为稀有气体,尤其是氩。也可使用氦。

[0014] 富氟气体的优选实施例为 CF_4 和 SF_6 。也可使用 CF_3H 。

[0015] 优选的是采用单一的富氟气体,并且最优选地是采用 CF_4 作为单一的富氟气体。也可采用富氟气体的混合物,例如 CF_4 和 SF_6 的混合物。当采用富氟气体的混合物时,本申请所述的富氟气体的体积比应被理解为在蚀刻剂气体混合物中存在的全部富氟气体的体积比。

[0016] 可由用于光刻工艺的且与碳化硅兼容的任何材料来形成掩模。该掩模可为金属掩模,并且通常可使用镍掩模。

[0017] 其上形成掩模的碳化硅工件的表面可以是未抛光的。其上形成掩模的碳化硅工件的表面可以是经研磨的。在不受任何特定理论或假设的限制下,认为,经研磨的碳化硅工件表面存在缺陷,如果在主体蚀刻前未去除或至少在密度上降低,那么这些缺陷将导致在蚀刻特征中的柱状生长。这些缺陷还可能会影响在掩模工艺中使用的阻挡层和晶种层。该机制也可适用于其他碳化硅表面。

[0018] 进行初始等离子蚀刻至至少 250nm 的蚀刻深度。在一些实施方式中,进行初始等离子蚀刻至至少 700nm 的蚀刻深度。通常,在初始等离子蚀刻期间达到较大的蚀刻深度对已知缺陷提供了有效降低。

[0019] 进行碳化硅工件的等离子蚀刻以提供一个或多个通孔。其他蚀刻特征的产品也在本发明的范围内。

[0020] 在一些实施方式中,使用电感耦合等离子(ICP)进行蚀刻。也可采用其他形式的等离子蚀刻。

[0021] 可改变初始等离子蚀刻的其他工艺条件以优化该工艺。例如,已经发现,在初始等离子蚀刻步骤期间增加工艺压力能够降低缺陷水平。在一些体系中,压力从 5mT 增加至 10mT 产生了改善。对于利用基板偏压的蚀刻工艺,已经发现增加偏压功率能够降低缺陷水

平。

[0022] 根据本发明的第二个方面,提供一种用于蚀刻硅氮化物工件的装置,所述装置包括:腔室;放置在所述腔室中的工件支架;气体供应和泵送器件,用于将蚀刻气体提供至所述腔室;以及控制器件,配置用以控制包括所述气体供应和泵送器件的装置,以进行根据本发明的第一个方面的方法。

[0023] 尽管上文已经描述了本发明,但是本发明可扩展至上文中或下文中、附图或权利要求中列出的特征的任何创造性组合。例如,关于本发明的第一方面的任何特征可并入本发明的第二方面,反之亦然。

附图说明

[0024] 可以以各种方式进行本发明,且现将参照下列附图仅示例性描述具体实施方式,其中:

[0025] 图 1a 示出了包含利用 SF_6/He 等离子蚀刻 SiC 产生的缺陷的 8 个通孔的光学显微照片,该通孔的直径为 80 微米,深度为 100 微米,图 1b 为示出了在 SiC 的等离子蚀刻期间的缺陷形成的俯视光学显微照片;

[0026] 图 2a 示出了在用于蚀刻碳化硅的现有技术工艺中在碳化硅表面上形成光刻胶,图 2b 为在用于蚀刻碳化硅的现有技术工艺中形成掩模,图 2c 为在用于蚀刻碳化硅的现有技术工艺中去除光刻胶层和晶种层,以及图 2d 为在用于蚀刻碳化硅的现有技术工艺中形成蚀刻特征;

[0027] 图 3a 示出了根据本发明在用于蚀刻碳化硅的工艺中在碳化硅表面上形成光刻胶,图 3b 为根据本发明在用于蚀刻碳化硅的工艺中形成掩模,图 3c 为根据本发明在用于蚀刻碳化硅的工艺中去除光刻胶层和晶种层,以及图 3d 为根据本发明在用于蚀刻碳化硅的工艺中的贯穿步骤,以及图 3e 为根据本发明在用于蚀刻碳化硅的工艺中的主蚀刻步骤以产生蚀刻特征;

[0028] 图 4 示出了根据本发明的产生的碳化硅通孔的 SEM 横截面和光学显微照片;以及

[0029] 图 5 为本发明中使用的装置的半示意图。

具体实施方式

[0030] 图 3 为本发明工艺的代表图。图 3 共有了图 2 中示出的许多步骤和特征,使用相同的附图标记表示这些共有的特征。具体地,图 3a 至图 3c 与图 2a 至图 2c 基本相同。图 3d 示出了本发明提供的额外的贯穿步骤。贯穿步骤为穿透表面且通过形成初始蚀刻特征 7 而开始蚀刻的初始等离子蚀刻步骤。随后,进行在碳化硅工件蚀刻更深的主等离子刻蚀工艺。

[0031] 采用 Ar 和 O_2 的常规现有技术贯穿步骤在 15 分钟内仅仅去除几十纳米的 SiC。对于高度抛光的表面,这就足以完成令人满意的没有缺陷的蚀刻。然而,在其它实例下,例如用于经研磨的表面,其导致多于 50% 的蚀刻特征,例如具有缺陷的通孔。已经发现,附加相对少量的 CF_4 (体积比约为 1.4 ~ 1.8%) 提高了 SiC 蚀刻速率,从而 $\text{CF}_4/\text{Ar}/\text{O}_2$ 蚀刻气体混合物在 15 分钟内去除 300nm 的 SiC。观察到降低的缺陷水平。已使用 SF_6 替代 CF_4 ,即,已经使用包括 $\text{SF}_6/\text{Ar}/\text{O}_2$ 的蚀刻气体混合物。已经发现,相似且相对低的混合比在使用 SF_6 观

察到的缺陷水平中产生相似的改善。使用较高混合比的 CF_4 或 SF_6 最终导致研磨的 SiC 上的缺陷水平增加。认为,这是由于研磨损坏处的优先蚀刻最大化,从而导致表面的点蚀。

[0032] 利用可商购的电感耦合等离子(ICP)装置,例如由 SPTS 技术有限公司(Newport, NP182TA, UK)制造的 Omega (RTM) ICP 器具对晶片施加 RF 偏压来进行该蚀刻。图 5 为用于该实验的装置的半示意图。该装置包括腔室 10,该装置 10 封装有压板 12。工件晶片 14 被放置在压板 12 上。RF 线圈 16 环绕腔室 10 的外围放置,以及 RF 功率由 RF 功率供应源 18 以 13.56MHz 的 RF 频率供应至 RF 线圈。通过另一个的 RF 功率供应源 20 将独立的 RF 偏压施加至压板 12。工艺气体通过入口 22 被引入至腔室 10。为了表达简单,图 5 中未示出有助于将工艺出气体供应至腔室 10,以及将工艺气体从腔室 10 中排出的气体供应线路、阀门、质量流量控制器以及泵送器件。然而,技术人员将理解,该装置的设计和其用于进行主蚀刻的操作是本领域所熟知的。该装置进一步包括控制器 24,控制器 24 控制 RF 功率源 18、20 的操作和气体供应系统和泵送器件(未示出)的操作以控制工艺气体供应至腔室 10。技术人员将理解,利用控制器 24 控制这些工艺参数的常规原理是周知的,并且可用作控制器 24 的装置的类型也是周知的。本发明通过采用这些已知的控制器控制本发明提供的初始等离子蚀刻步骤来进行。控制器 24 也被配置为在合适的时间停止初始等离子蚀刻步骤,并且在合适的时间使主等离子蚀刻开始。在这些实验中,在同一腔室中进行初始的穿透等离子蚀刻以及主蚀刻。主蚀刻为常规 SF_6/O_2 蚀刻。也可加入氩或氦。在不同的腔室中进行两个蚀刻步骤也在本发明的范围内,但是认为使用单一的腔室在操作上更具有吸引力。还发现通过改变多个工艺参数可优化该工艺。具体地,发现增加工艺压力和 RF 偏压使得在 15 分钟内初始等离子蚀刻期间得到的蚀刻深度从 300nm 增加到大于 800nm。这进一步将缺陷水平降低至非常令人满意的水平。表 1 中示出了工艺参数和结果。

[0033]

	工艺 A	工艺 B	工艺 C
CF4 (sccm)	0	3	3
Ar (sccm)	130	130	130
O2 (sccm)	50	50	50
压力(mT)	5	5	10
RF 偏压(W)	150	150	300
15 分钟内去除的 SiC (nm)	20 ~ 40	300	800
缺陷率(%)	50 ~ 100		0 ~ 1.5

[0034] 表 1 贯穿步骤总结:用于上述工艺的源功率被固定在 1000WRF (13.56Mhz),压板温度在 10 ~ 20°C。

[0035] 图 4a 示出了根据工艺 A 蚀刻的 SiC 通孔的 SEM 横截面,图 4b 为根据工艺 A 蚀刻的 SiC 通孔的光学显微照片,图 4c 还示出了根据工艺 C 蚀刻的 SiC 通孔的 SEM 横截面以及

图 4d 为根据工艺 C 蚀刻的 SiC 通孔的光学显微照片。在通孔中消除缺陷显然有利于去除约 800nm 或更多的研磨的 SiC 表面。

[0036] 已经证实,通过改变初始穿透等离子蚀刻的工艺条件以及通过改变在该蚀刻步骤期间得到的蚀刻深度,能够改变得到的缺陷水平。取决于待蚀刻的 SiC 晶片的质量,可同时优化初始穿透等离子蚀刻的持续时间和其他工艺参数。

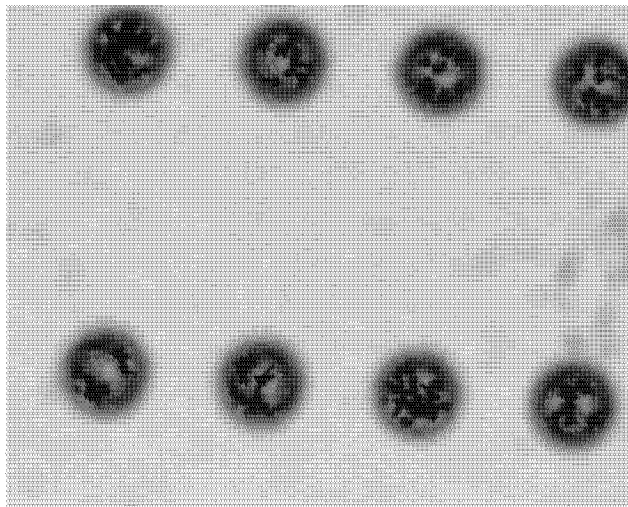


图 1(a)

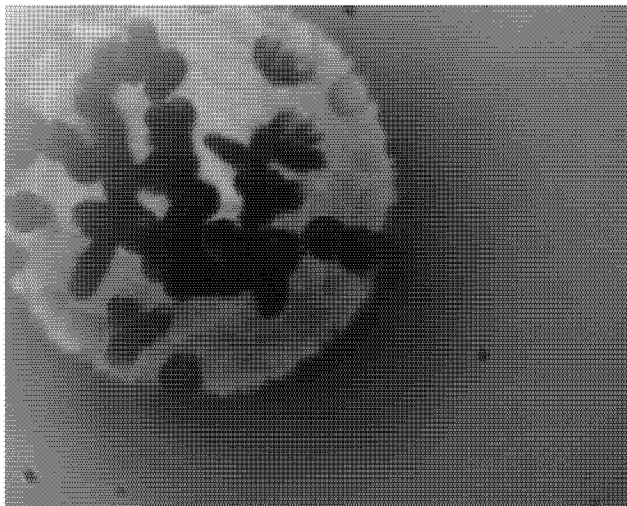


图 1(b)

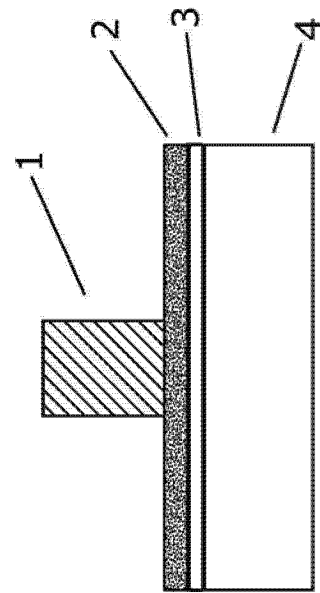


图 2a

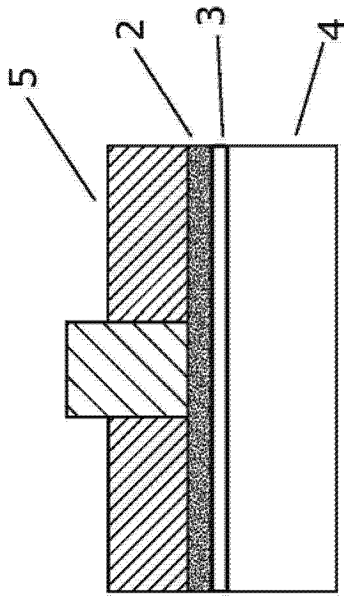


图 2b

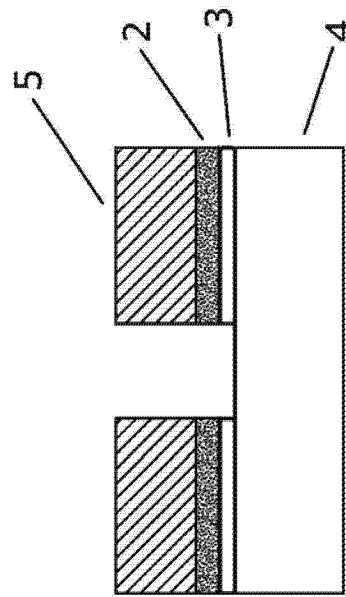


图 2c

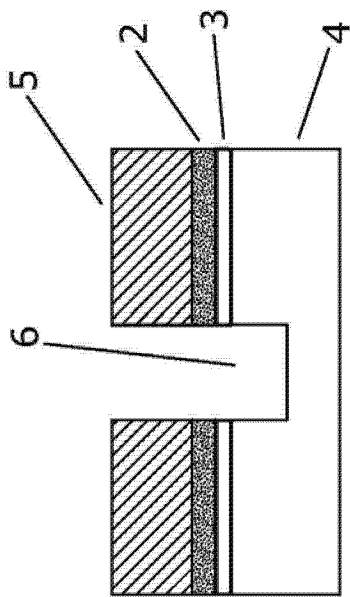


图 2d

关键词：
1 = 光刻胶
2 = Au
3 = Ti 或 TiW
4 = SiC
5 = Ni
6 = 蚀刻通孔

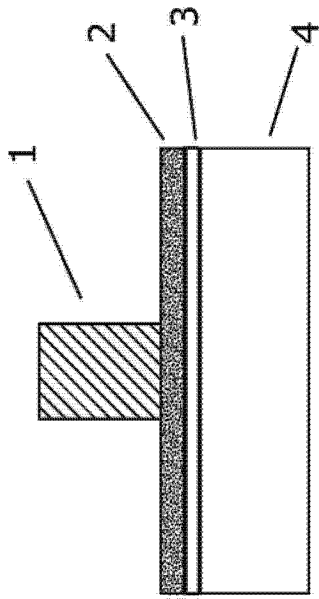


图 3a

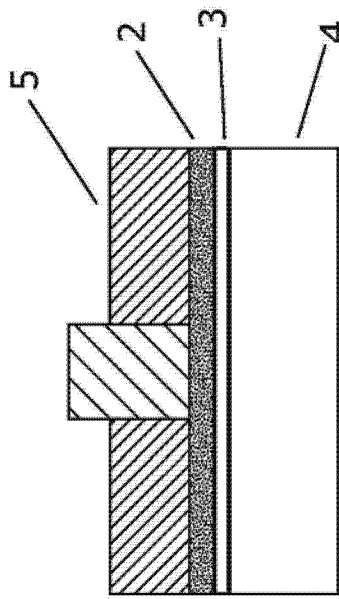


图 3b

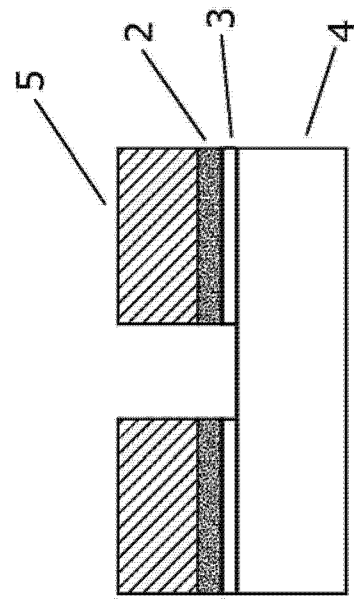


图 3c

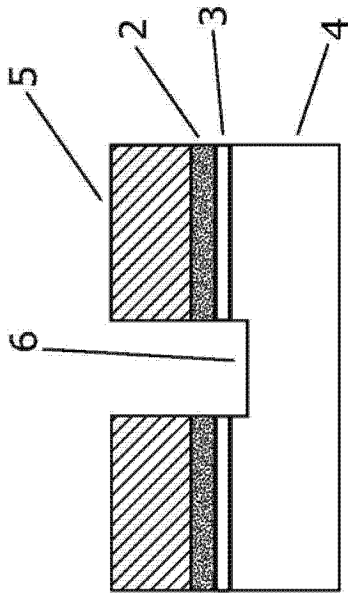


图 3d

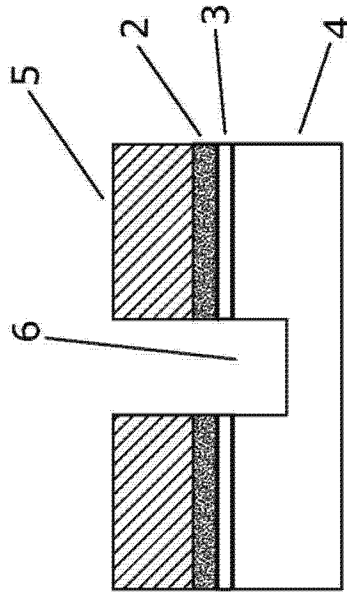


图 3e

关键词：
 1= 光刻胶
 2= Au
 3= To 或 TiW
 4= SiC
 5= Ni
 6= 蚀刻通孔



图 4(a)

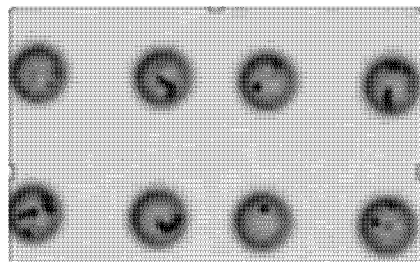


图 4(b)

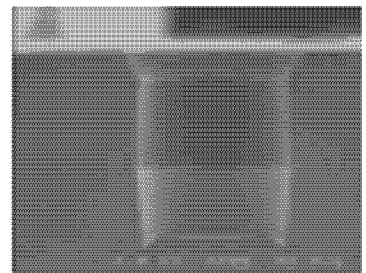


图 4(c)

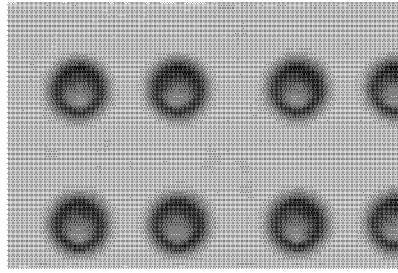


图 4(d) 工艺 A(a) 和 (b) 和 C(c) 和 (d) 的 SiC 通孔中的缺陷率

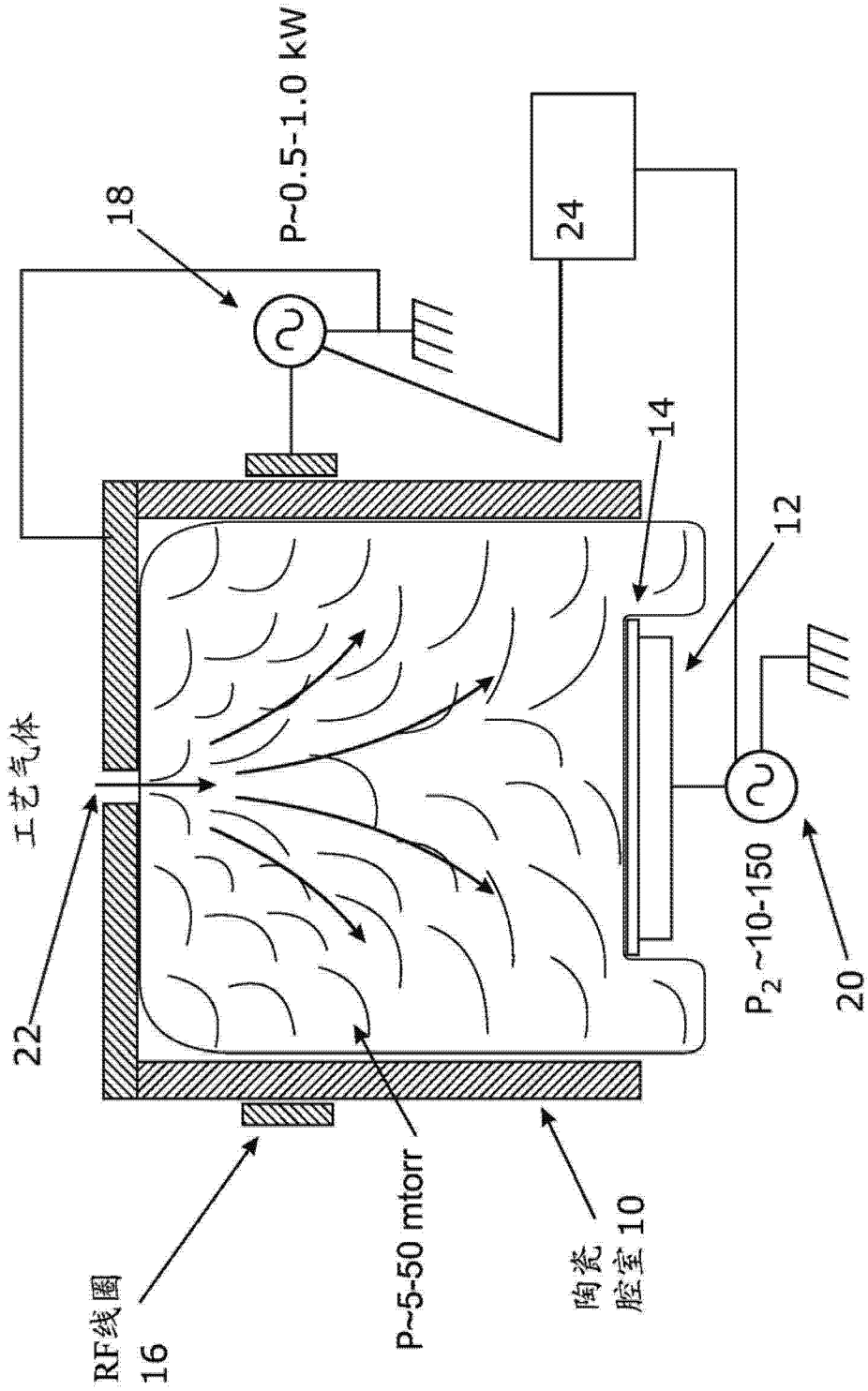


图 5